



# Design et ingénierie des systèmes homme-dans-la boucle

Didier Fass

## ► To cite this version:

Didier Fass. Design et ingénierie des systèmes homme-dans-la boucle. La revue des Mines, 2009, R&D dans la santé: et demain ?, 440, pp.50-51. inria-00437320

**HAL Id: inria-00437320**  
**<https://inria.hal.science/inria-00437320>**

Submitted on 30 Dec 2009

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

## Design et ingénierie des systèmes *homme-dans-la boucle*

Comprendre et anticiper l'intégration de l'humain et des technologies de la connaissance dans la convergence des biotechnologies, des sciences et des technologies de l'information (STIC) et des technologies cognitives est un enjeu majeur pour l'innovation, la création scientifique et technique, l'organisation économique et sociale de la décennie à venir. Les avancées rapides de cette convergence pluridisciplinaire offrent de nombreuses possibilités d'innovations scientifiques et techniques pour augmenter les capacités physiques et cognitives individuelles et collectives. Dans cette perspective stratégique, la conception et le développement de solutions et produits innovants et intelligents pour l'aide à l'activité humaine tout au long de la vie nécessitent une approche théorique et pratique nouvelle du couplage système biologique (humain) - système physique (artefact).

Les recherches et développements menées dans le cadre de l'Action Artem<sup>1</sup> « *l'homme augmenté*<sup>2</sup> » ont pour objectifs de développer des méthodes de modélisation, de conception et de validation robustes des systèmes homme dans-la-boucle. Les systèmes homme dans-la-boucle (*human in-the-loop systems* en anglais) sont une classe particulière des systèmes de systèmes. Ils sont constitués de deux catégories de systèmes dont la nature diffère tant par leur organisation fondamentale, leur complexité, que par leurs comportements. La première catégorie classique de systèmes est constituée des systèmes techniques ou artefactuels. Ils sont le produit de l'ingénierie humaine. La seconde catégorie est celle des systèmes biologiques. Ils sont le fruit de l'évolution naturelle et le domaine d'action de la bio-ingénierie. Celle-ci conçoit traditionnellement des systèmes de reconstruction d'organes et de réhabilitation fonctionnelle pour l'humain malade ou blessé, tels que les stimulateurs cardiaques (*pacemakers*). Les systèmes biologiques sont aussi des systèmes physiques, mais différent de ceux-ci par une organisation spécifique : l'organisation intégrative. Cette organisation intégrative confère les propriétés fonctionnelles, comportementales et d'évolution des systèmes vivants. Ainsi, qu'il s'agisse de concevoir des systèmes de pilotage automatique de pompes à médicament pour la réanimation ou de concevoir et valider les principes de design de systèmes techniques qui seront opérés par un humain, l'enjeu n'est plus seulement de concevoir les interactions homme-machine mais aussi et surtout de concevoir l'intégration homme-systèmes.

### L'intégration homme-systèmes : un enjeu stratégique



Dr Didier FASS

Responsable de  
l'action Artem  
« l'homme augmenté »  
ICN École de  
Management et  
LORIA INRIANGE

L'intégration homme-systèmes ou humain-systèmes (IHS) est initialement un concept technique et organisationnel avec un intérêt spécifique pour les méthodes qui peuvent être utilisées pour lier l'IHS à la conception et à l'ingénierie des systèmes. Durant la dernière décennie, des programmes de recherche ont développé un large éventail d'outils, de techniques et de technologies ayant pour objectif *les facteurs humains* dans l'ingénierie des systèmes de manière à assurer un important bénéfice en termes de coût et de performance.

Actuellement, l'intégration humain-système est un terme qui recouvre plusieurs domaines de la recherche *facteurs humains* et de l'ingénierie, incluant la performance humaine, l'ingénierie de conception technologique et l'ingénierie de l'interaction humain - systèmes interactifs. Cela concerne la prise en compte des capacités et performances humaines dans la conception des systèmes complexes humain-machine pour assurer la sûreté et l'efficacité opérationnelle.

En conséquence, il y a deux facteurs qui limitent actuellement l'IHS : le premier est une mauvaise compréhension de l'autonomie des systèmes vivants, le second est une sous estimation de la nature des interactions et du processus biologique d'intégration impliqué dans la dynamique de connaissance, fonction physiologique de couplage adaptatif du corps vivant à son environnement. D'autre part, l'intégration de systèmes pour concevoir l'homme augmenté - systèmes *homme dans la boucle* - implique le passage d'une ingénierie de conception, développée sur des métaphores et des scénarios d'activités et d'usages, établis sur des modèles et des règles métaphysiques de l'interaction et de la cognition, à une science et une ingénierie prédictive de l'interaction et de l'intégration. Cela nécessite une nouvelle approche épistémologique et théorique de la nature de la connaissance et de la cognition comme processus intégrés et intégratifs biologiques, anatomiques et physiologiques.

Ainsi, en augmentant la cognition et les boucles sensori-motrices par l'automatisation et par des artefacts interactifs, premièrement, on améliore les capacités et performances humaines et deuxièmement on prolonge ou étend l'anatomie et la physiologie du comportement.

Concevoir et développer l'homme augmenté avec les technologies des environnements virtuels, nous permet d'intégrer les éléments artificiels et structurels par des interactions artificielles fonctionnelles.

La problématique qui se pose alors est de coupler et d'intégrer d'une manière *comportementale* (anatomiquement et comportementalement) cohérente un système biologique avec un système physique artefactuel grâce à un design et une l'ingénierie organisationnelle.

### La conception sûre des systèmes « homme-dans-la-boucle » : modélisation numérique prédictive ingénierie et facteurs humains

L'intégration humain-systèmes comprend la conception augmentée de l'humain dont les objectifs sont d'accroître les capacités humaines et d'améliorer la performance humaine dans des activités et opérations critiques. Ces technologies non invasives de l'homme augmenté sont mises en œuvre à l'aide de systèmes d'analyse automatique du comportement ou de systèmes vestimentaires (robotique vestimentaire). Le geste est un comportement neuro-cognitif hautement intégré, produit de l'organisation dynamique de nombreuses fonctions physiologiques. Assister le geste et améliorer les habiletés humaines revient à coupler les fonctions physiologiques et les organes avec des systèmes techniques grâce aux interactions multimodales qu'ils génèrent artificiellement. Ainsi la conception de « l'homme augmenté » doit intégrer de manière sûre et cohérente les facteurs humains (anatomie, neurophysiologie, comportement), les technologies cognitives interactives d'assistance et le design des systèmes techniques. C'est cela l'ingénierie de conception des systèmes *homme dans la boucle*.

Si des méthodes d'ingénierie fiables et prédictives, inspirées les méthodes d'ingénierie système, sont nécessaires pour la modélisation robuste et la conception des futures règles de l'ingénierie de l'IHS, ayant pour but d'augmenter les capacités et la performance humaine, elles ne sont pas suffisantes. Elles nécessitent un fondement scientifique de l'intégration.

### Gilbert Chauvet : le père de la théorie mathématique de la physiologie intégrative.

Comme nous l'avons déjà souligné, concevoir l'homme augmenté nécessite une théorie intégrative qui tienne compte des spécificités de l'organisation biologique des systèmes vivants, en accord avec les principes de la physique, et de la manière cohérente d'organiser et d'intégrer les éléments structurels (structural au niveau atomique et moléculaire) et fonctionnels artificiels. De plus, tout comme les systèmes d'ingénierie reposent sur des principes physiques et leurs représentations mathématiques,

les systèmes *humains dans la boucle* nécessitent d'être fondés sur des principes physiologiques d'intégration, leurs représentations mathématiques et leur formalisme. Ces principes théoriques nous sont fournis par la théorie mathématique de la physiologie intégrative (MTIP) de Gilbert Chauvet<sup>3</sup>.

La MTIP examine l'organisation hiérarchique des structures (l'anatomie) et des fonctions (la physiologie) du système vivant et de son comportement. Il introduit le principe d'une hiérarchie fonctionnelle fondée sur l'organisation structurale dans les échelles d'espace et sur l'organisation fonctionnelle dans les échelles de temps des unités structurales dans l'espace physique.

Cette théorie de la physiologie intégrative fonde notre paradigme pour la conception sûre des nouvelles technologies cognitives et des systèmes artificiels interactifs pour l'aide à l'activité humaine.

Du lit de réanimation au cockpit d'un avion de ligne, la conception sûre des systèmes vie et sécurité critiques est un enjeu pour l'amélioration de la performance du système aérien et du système de santé, leur opérabilité et leur maturité. C'est aussi un enjeu majeur pour l'innovation et le développement des futures technologies d'aide au pilotage et au contrôle des processus complexes plus ou moins automatisés de l'aéronautique et de la santé : du cockpit aux systèmes d'anesthésie-réanimation. Du chirurgien au spationaute, lors de sortie extra-véhiculaire, ou pour les opérateurs de maintenance aéronautique, elle permet la diffusion et l'utilisation des nouvelles techniques d'aide à l'activité humaine.

Concevoir ces principes théoriques de l'intégration homme-systèmes et les règles de production de ce couplage humain – artefacts pour la conception sûre et prédictive des technologies intégratives des domaines aérospatial et de la santé, tels sont les enjeux théoriques et pratiques du projet Artem l'homme augmenté. ●

<sup>1</sup> Artem : "Art Sciences Techniques et Management", réunit l'École de Mines de Nancy, l'ICN École de management et l'École supérieure nationale d'Art de Nancy dans un projet pédagogique et de campus. Nancy Université est aussi associé à Artem.

<sup>2</sup> Le concept d'homme augmenté ne se limite pas à la bionique et ses technologies invasives incorporées dans le corps altéré ou abîmé. Il englobe aussi les possibilités non invasives des technologies embarquées. Il se démarque clairement des idéologies transhumanistes voire eugénistes qui considèrent l'humain comme une machine imparfaite qu'il conviendrait de modifier et « d'améliorer » par les manipulations génétiques et technologiques. Nous ne sous-estimons pas les questions éthiques que génère ce terme mais sont caractère heuristique est fécond.

<sup>3</sup> [www.gilbert-chauvet.com](http://www.gilbert-chauvet.com)